

EDISON_CFD를 활용한 핀틀 형상에 따른 압력특성 및 재순환 영역 연구

문 태 석¹

¹충남대학교 항공우주공학과

최근 저비용 및 재사용 발사체 개발 연구에 관한 관심이 증가하고 있는 추세인데, 이로 인해 노즐 내부에 핀틀 개념을 적용하여 발사체의 성능을 높이거나 스로틀링을 활용한 재사용 연구가 중요해지고 있다. 이 노즐 내부에 탑재된 핀틀 형상은 노즐 성능을 결정짓는데 핵심적인 역할을 하게 된다. 따라서 본 논문에서는 핀틀 형상에 따른 압력특성과 재순환 영역의 경향성을 확인하여 추후 저비용, 재사용 발사체 개발 연구의 기초자료로 활용하고자 한다. 해석 결과 핀틀 크기보다 핀틀 각도가 성능 변화에 더 민감한 변수로 판단되었다.

Key Words : 확장-굴절(Expansion-Deflection), 핀틀(Pintle), 압력특성(Pressure Characteristics), 재순환 영역(Recirculation Zone)

1. 서 론

최근 전 세계적으로 저비용/재사용 발사체 개발에 관한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 발사체 성능을 향상시켜 개발 비용을 줄이거나 스로틀링(Throttling) 기술을 활용하여 발사체를 재사용하는 연구가 중요해지고 있다.

따라서 국외에서는 발사체 자체의 성능을 향상시키는 연구보다 상대적으로 쉬운 관점으로 접근할 수 있는 노즐 형상 변화에 따른 성능 이득 연구를 활발히 수행하고 있다[1]. 이중 고도를 보정함으로써 노즐 성능을 높일 수 있는 aerospike, dual bell, E-D(expansion-deflection) 노즐 등 과 같은 고도보정 노즐에 관한 연구가 국외에서 주로 수행되었다[1].

이 고도보정 노즐 중 E-D는 노즐 내부에 핀틀(pintle) 개념을 적용하여 저고도에서 개방 유동장(open wake) 고고도에서 폐쇄 유동장(closed wake)을 형성하는 노즐이다[1]. 이 E-D 노즐은 핀틀 형상과 고도에 따라 노즐 내부에 작용하는 유효면적비의 크기를 변화시키며 성능 변화를 가지게 된다. 이처럼 노즐 내부에 고정된 핀틀 각도나 크기는 노즐 성능을 향상시킬 수 있는 핵심적인 역할을 하게 된다.

이에 따라 핀틀 형상에 따라 노즐 내에 발달되는 유동장 형태나 핀틀 후방부의 재순환 영역, 핀틀에 작용하는 압력에 관한 기초연구가 중요해지게 된다. 따라서 본 논문에서는 EDISON_CFD solver를 활용한 핀틀 형상에 따른 압력특성과 핀틀 후방부에 생기는 재순환 영역 발달 형태 및 경향 분석에 관한 기초연구를 수행하고자 한다.

2. 본 론

2.1 해석조건 및 격자형성

핀틀 형상은 eMEGA 프로그램을 활용하여 설계를 수행하였고 원호와 직선만을 활용해 간단한 구조로 설계하였다. 사용한 2개의 원호 반지름은 10, 20이고 점점 없이 점점만을 이용한 핀틀 곡률을 설계하였다. 설계한 핀틀과 해석 조건의 자세한 제원은 Table 1에 명시되어있다.

격자의 개수는 Fig. 1의 (a), (b)는 75600개 형상 (c), (d)는 각 79200개, 82800개로 해석을 수행하였다. 또한 격자 민감도 해석을 위해 제시한 격자 개수에 각 1.5배하여 전체 격자개수를 형성하였고 수치해석을 수행하였다. 해석 결과 두 결과 값이 일치함을 확인하였고, 추가적으로 해석한 유동장의 형태와 Cl, Cd, 값이 각 형상별로 일정한 값에 수렴하는지를 확인하여 수렴 여부를 판단하였다.

Table 1 Each specification of pintle shape and solver setting

분류	형상1	형상2	형상3	형상4
Solver	EDISON 2D_Comp_P			
CFL	0.1	Error Tolerance		10^{-7}
원호길이	10		20	
핀틀길이	12	16	24	32
핀틀높이	4	8	8	16
변곡각	18.435°	26.565°	18.435°	26.565°
유동속도	Mach 3			
Re _x ($\times 10^7$)	8.16	10.88	16.32	21.76
격자수	75600	75600	79200	82800
Boundary Condition	아래쪽 : Viscous Adiabatic Wall 위쪽 : Far-Field BC 왼쪽/오른쪽 : Supersonic Inlet/Outlet			
Total Iteration	120,000			

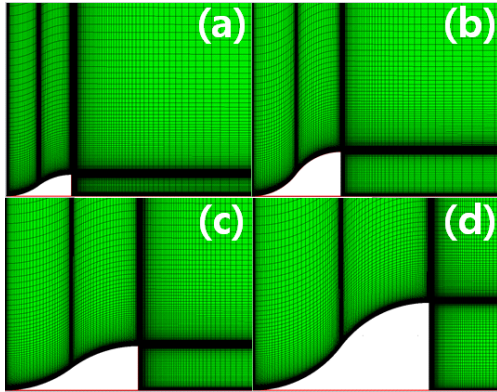


Fig. 1 Grid formation of each pintle shape (a)shape1, (b)shape2, (c)shape3, (d)shape4

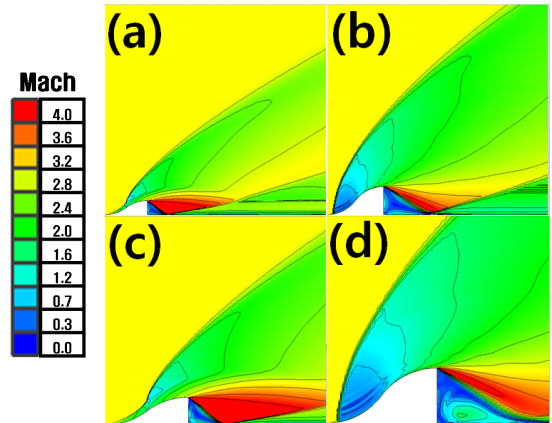


Fig. 2 Mach contour of each pintle shape (a)shape1, (b)shape2, (c)shape3, (d)shape4

2.2 압력분포 및 재순환 영역 경향성 확인

핀틀 각도와 크기에 따른 핀틀 벽 압력분포와 핀틀 후방부에 생기는 재순환 영역의 경향성을 확인하기 위해 eDAVA 프로그램을 활용하였다. 먼저 Fig. 2의 (b)와 (c), (b)와 (d)를 비교하면 핀틀 각도와 크기 모두 클수록 재순환 영역이 커짐을 확인할 수 있다. 이는 초음속 유동이 핀틀 윗면을 따라 거동하게 되는데, 핀틀 각도가 큰 경우 발달되는 유동장의 크기가 커지고 핀틀 크기가 클수록 핀틀 끝단에서 유동이 박리되는 높이가 높아지기 때문에 재순환 영역이 커진다고 판단된다.

같은 방법으로 Fig. 3의 (b)와 (c), (b)와 (d)와 Table 2를 비교하면 핀틀 각도와 크기 모두 커질수록 압력이 증가함을 확인할 수 있다. 이는 유동이 핀틀 윗면을 따라 흐르며 생기는 충격파와 관련이 있다고 판단되는데 핀틀 각도가 큰 경우 핀틀 윗면에서 발생하는 충격파의 각도가 커지게 되고 인해 압력이 증가하기 때문이다. 해석 결과 핀틀의 높이나 크기보다 핀틀 각도가 성능에 더 민감한 변수라 판단된다.

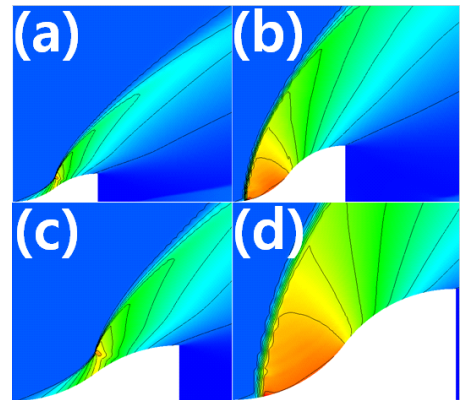


Fig. 3 Pressure distribution of each pintle wall (a)shape1, (b)shape2, (c)shape3, (d)shape4

3. 결 론

최근 저비용/제사용 발사체 개발에 관한 관심이 증가하는 추세이기 때문에 노즐 형상 변화를 통한 성능 향상이나 핀틀을 활용한 스톱렛팅 연구가 중요해지고 있다.

따라서 본 논문에서는 EDISON 프로그램을 활용한 핀틀 형상 변화에 따른 압력변화와 후방부에 생기는 재순환 영역 경향을 확인하였다. 해석 결과 핀틀 각도와 크기 모두 커질수록 압력이 증가하고 재순환 영역이 커지는 경향성을 확인하였고, 이는 곧 핀틀 각도와 크기가 노즐 성능 향상에 비해 미치는 영향을 나타낼 것이라 판단되기 때문에, 향후 핀틀 크기와 각도에 따른 성능변화 연구도 수행되어야 한다 판단된다.

Table 2. Pressure value of each pintle and inflection point

분류	변곡점 위치	Cp
(a)형상1	가로6,세로2	1.2959
(b)형상2	가로8,세로4	1.4106
(c)형상3	가로12,세로4	1.2926
(d)형상4	가로16,세로8	1.4323

후 기

본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016M3C1A6937383)

References

- [1] 1998, Hagemann, G., Immich, H., Nguyen, T. V., and Dumnov, G. E., "Advanced Rocket Nozzles," Journal of Propulsion and Power, Vol. 14, No. 5, pp.620-634.